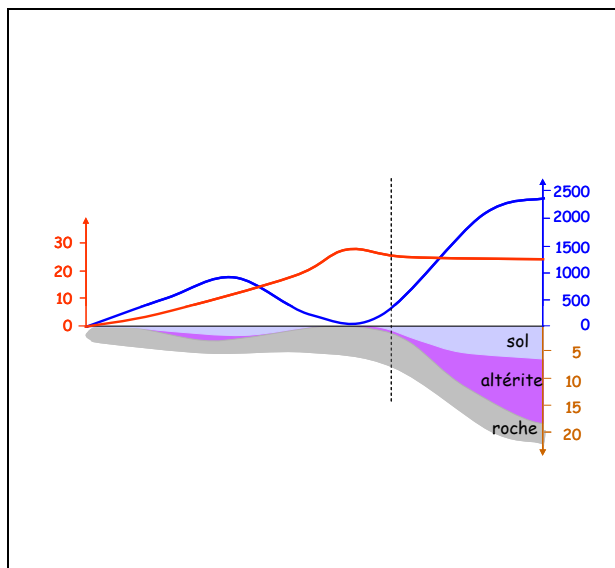




**Compte-rendu de mission en République Centrafricaine
18 mai au 2 juin 2011
Formation de pédologie et encadrement du stage de C. Wonkam**



Vincent Freycon
30 août 2011

1 - Objectifs

Cette mission avait un double objectif : (1) donner une formation de pédologie au M1 « Biodiversité » de l'Université de Bangui ; (2) encadrer le stage de M1 « Biodiversité végétale » de C. Wonkam (Université de Montpellier) sur « La profondeur d'enracinement des arbres de la forêt tropicale humide. Comparaison entre deux types de sols », dans le cadre du projet CoForChange.

Cette mission a été financée principalement par le SCAC (resp. J.P. Deschamps, X. Hénaut). Les frais liés à l'encadrement du stage de C. Wonkam ont été pris en charge sur le budget de ce stage qui était financé par l'AFD (resp. H. Marion).

Nous tenons à remercier tout particulièrement Adeline Fayolle, Volontaire International à l'ARF, Olga Yongo, responsable du master « Biodiversité » de l'Université de Bangui, et Didier Hubert, chef du projet PARPAF en RCA, qui ont grandement facilité la logistique et nos déplacements en RCA. Nous remercions également Jonas Bobéro, conservateur du projet ECOFAC pour l'hébergement à Ngotto, ainsi que David Déola, responsable du site de l'IFB de Ngotto, pour nous avoir rendu service lors de notre séjour à Ngotto. Nos remerciements vont également à tous les interlocuteurs cités dans ce rapport, pour le temps qu'ils nous ont accordé durant notre séjour.

Ce rapport présente (i) le contenu de la formation en pédologie et un bref compte-rendu des discussions que nous avons eues avec différents interlocuteurs en vue de pérenniser cette formation ; (ii) les travaux effectués sur le terrain pour encadrer le stage de C. Wonkam et les premiers résultats. **L'annexe 1** reprend le calendrier de la mission.

2 – Formation en pédologie, Université de Bangui

2.1. Année 2011

Comme suite à une demande exprimée par Olga Yongo, lors de notre précédente mission en RCA en décembre 2010 (Laraque & Freycon, 2010), nous avons donné une formation en pédologie à 7 étudiants du M1 « Biodiversité » de l'Université de Bangui (Annexe 2).

Cette formation s'est déroulée en trois temps :

- cours théoriques (12h)
- travaux pratique sur la colline de Gbaza-Bangui (4h)
- évaluation (2h30)

Les cours théoriques (Annexe 3) avaient comme objectif de donner un aperçu des principaux constituants du sol et de leurs propriétés, des sols tropicaux et leurs relations avec la nutrition des plantes. Chaque cours était complété par quelques articles généralement en anglais. Nous avons aussi présenté la structure classique d'un article scientifique et de son introduction.

Le TP sur le terrain avait comme objectif de décrire l'environnement d'un sol (topographie, roche, ...) et les principales caractéristiques d'un sol (texture, structure, couleur en utilisant le code Munsell, éléments grossiers, racines). Trois descriptions de sols ont été réalisées correspondant à trois positions topographiques : bas de versant, mi-versant et haut de versant,

L'évaluation (Annexe 4, Annexe 5) était divisée en trois parties (i) évaluation des connaissances acquises durant les cours théoriques (ii) évaluation des connaissances acquises durant le TP (iii) restitution par groupe de 2 à 3 étudiants d'un article de synthèse qui avait été transmis au début de la formation.

La correction de l'évaluation a été réalisée à la fin de la mission, les copies et notes ayant été transmises à O. Yongo.

De l'évaluation de cette formation par les étudiants (Annexe 6), il ressort que cette formation a été bien appréciée, notamment les cours n°1 à 5 et le TP sur le terrain.

Les points à améliorer sont les suivants : éviter les cours après le TP sur le terrain, poly des cours à remettre avant le cours, donner des exercices (ex. réserve en eau du sol), donner plus d'autonomie aux étudiants sur le terrain, augmenter la durée de l'évaluation, augmenter le volume horaire des cours.

Les étudiants ont souhaité rester en contact par l'envoi de rapports de stage ou d'articles de vulgarisation en science du sol.

Enfin, nous suggérons que l'Université de Bangui acquiert quelques ouvrages de pédologie qui pourront être consultés par les étudiants. Par exemple : Baize & Jabiol (2001), Duchaufour (2004), Gobat *et al.* (2010), Legros (2007), Robert (1996), Ruellan & Dosso (1993).

2.2. Perspectives pour l'année 2012

Ces perspectives ont été envisagées à la fin de notre mission au cours de deux réunions, l'une à l'Université de Bangui, l'autre à l'Ambassade de France.

Réunion à l'Université de Bangui avec **M. Joachim Rouauld** (Vice-recteur de l'Université de Bangui), **M. Jean-Laurent Syssa-Magalé** (Doyen de la Fac de Sciences) et **Mme Olga Yongo**, (Responsable du master « Biodiversité »).

Nous avons ensemble précisé la suite à donner à cette formation en pédologie pour l'année 2012 :

- Renouveler cette formation de pédologie aux étudiants de M1 « Biodiversité » mais aussi de « Géologie ». Le volume horaire de cette formation serait de 23h répartis en 15h de cours théoriques, 4h de TP sur le terrain et 4h d'évaluation. Il serait pertinent que quelques enseignants de l'Université de Bangui suivent ce TP terrain.
- Poursuivre cette formation aux étudiants de M2 « Biodiversité » avec comme objectif d'approfondir certains points (ex. analyses de sols, ...) sur un volume de 6h.
- Co-encadrer un stagiaire de M2 « Biodiversité » de l'Université de Bangui avec un enseignant-chercheur de l'Université de Bangui, spécialiste des termites, sur le sujet « Installation préférentielle de certaines espèces arborées sur les termitières du dispositif de Mbaïki ».

A moyen terme (3 à 5 ans), l'objectif est d'amener 1 à 2 étudiants de master en thèse dont le sujet nécessitera un travail avec une forte composante en pédologie

D'un point de vue institutionnel, J. Rouauld a proposé qu'un avenant à l'accord cadre qui existe entre l'Université de Bangui et le CIRAD soit apporté en insistant sur le besoin exprimé par l'Université de Bangui pour former des pédologues en RCA.

Réunion à l'Ambassade de France avec **M. Xavier Hénault** (Attaché de coopération au Service de Coopération et d'Action Culturelle – SCAC - de l'Ambassade de France)

Nous avons restitué le déroulement de la formation de pédologie et la réunion à l'Université de Bangui. A priori, comme en 2011, le SCAC financera en 2012 cette formation de pédologie, avec comme objectif de faire émerger un étudiant de M2 capable de faire une thèse avec une forte composante en pédologie. Cet engagement doit être validé par **Jean-Philippe Deschamps** (Attaché de coopération éducative au SCAC) qui avait d'autres engagements lors de notre passage à l'Ambassade de France.

3 – Encadrement du stage de C. Wonkam

Le deuxième objectif de notre mission était d'encadrer le stage de M1 de Christelle Wonkam (Université de Montpellier) sur « Profondeur d'enracinement d'arbres de la forêt tropicale humide. Comparaison entre deux types de sols de RCA ».

Son stage était prévu en trois temps (i) 1 mois à Montpellier, pour faire de la bibliographie et définir le protocole expérimental, (ii) 2 mois et demi en RCA pour recueillir des données sur le terrain en étant encadrée principalement par Adeline Fayolle (Volontaire international, projet ARF) (iii) 1 mois et demi à Montpellier pour analyser les données et rédiger son mémoire.

A l'époque de ma mission, C. Wonkam était en RCA depuis 1 mois et demi et avait terminé le terrain sur Mbaïki. Lors de notre mission, nous avons complété son travail de terrain sur Mbaïki et démarré avec elle le terrain à Ngotto.

3.1. Sols de Mbaïki et enracinement

Site

Forêt semi-décidue (d'après image MODIS), non exploitée, sur grès-quartzites

M & M

Deux fosses avaient été ouvertes avant ma mission jusqu'à 6 m de profondeur :

- Mbaïki-Fosse 1 avait été ouverte par l'équipe ARF, à proximité de la piste d'accès au site de Boukoko, sur l'unité de sol 321 « Sol ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés gravillonnaires de profondeur, rouges » (Freytet, 1992). Cette unité de sol représente environ 18% de la superficie du dispositif de Mbaïki (Laraque & Freycon, 2010). La taille de la fosse est de (L=140 cm) x (l=150 cm) x (P=600 cm).
- Mbaïki-Fosse 2 a été ouverte par des journaliers du village voisin, dans la zone tampon de la parcelle 3 du dispositif de Boukoko, sur l'unité de sol 21 « Sol ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés typiques modaux ou profonds, rouges » (Freytet, 1992). Cette unité de sol représente environ 46% de la superficie du dispositif de Mbaïki (Laraque & Freycon, 2010). La taille de la fosse est de (L=240 cm) x (l=150 cm) x (P=600 cm).

Chacune des deux fosses avait été ouverte à une distance de 50 cm d'un Sapelli d'environ 50 cm de diamètre.

Nous avons déterminé les principaux horizons de ces deux fosses et recueilli quelques échantillons de sols en vue d'analyses de sols (Annexe 10).

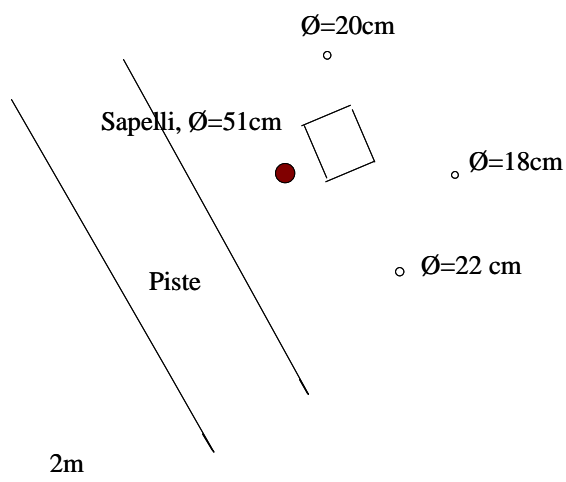
Nous avons aussi caractérisé l'environnement des deux fosses (distance et diamètre des arbres les plus proches) (Fig. 1), mais les arbres qui étaient installés dans l'emprise de la fosse n'ont pas pu être identifiés puisqu'ils avaient été éliminés lors de l'ouverture de la fosse.

Résultats (Fig. 2, Annexe 7, Annexe 8)

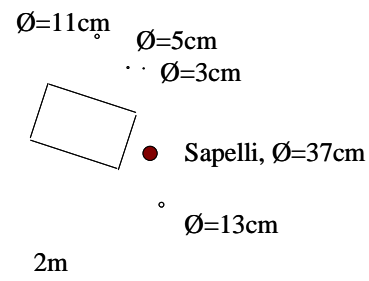
Les deux profils ont comme points communs d'avoir un horizon ferrallique typique (structure micro-agrégée, ...) d'au moins 2 m de profondeur qui permettra certainement de les classer comme ferralsols (A confirmer par les analyses de sols).

Ils se différencient par

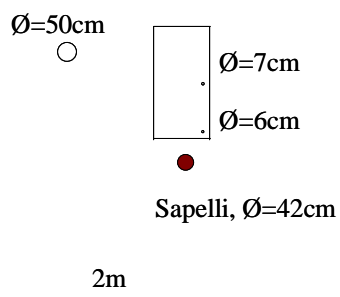
- l'épaisseur de l'horizon ferrallique : 2 m pour Mbaïki-Fosse1 vs 4 m pour Mbaïki-Fosse2
- la présence d'un horizon gravillonnaire à partir de 2 m pour Mbaïki-Fosse1 qui se poursuit plus bas par la présence d'une carapace ou d'une cuirasse.
- la nature de la roche : quartzite et grès pour Mbaïki-Fosse1 vs grès pour Mbaïki-Fosse2



Mbaiki-Fosse1

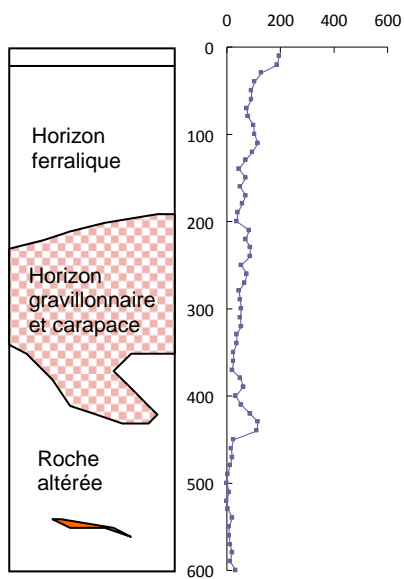


Mbaiki-Fosse2

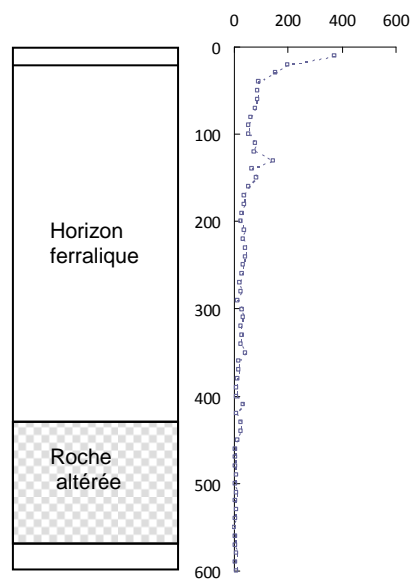


Ngotto-Fosse1

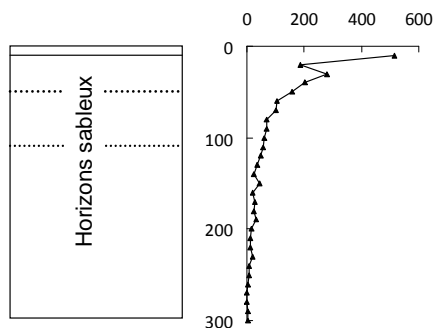
Figure 1 : Environnement des fosses de Mbaiki-Fosse1, Mbaiki-Fosse2 et Ngotto-Fosse1



Mbaiki-Fosse1



Mbaiki-Fosse2



Ngotto-Fosse1

Figure 2 : Profil pédologique simplifié et nombre d'impacts racinaires en fonction de la profondeur pour les fosses de Mbaiki-Fosse1, Mbaiki-Fosse2 et Ngotto-Fosse1

Les résultats préliminaires d'enracinement montrent :

- un enracinement qui atteint au moins 6 m de profondeur sur les deux fosses, même à Mbaiki-Fosse1, malgré la présence d'un horizon gravillonnaire et d'une carapace/cuirasse, présentés généralement comme une forte contrainte pour l'enracinement.
- une répartition du nombre total de racines plus équilibré à Mbaiki-Fosse1 qu'à Mbaiki-Fosse2.
- entre 2 m et 4 m de profondeur, un nombre de racines plus élevé dans l'horizon gravillonnaire (+ carapace) de Mbaiki-Fosse1 que dans l'horizon ferrallitique de Mbaiki-Fosse2 !!

3.2. Sols de Ngotto et enracinement

Site

Forêt semi-décidue (d'après image MODIS), exploitée (IFB), sur grès de Carnot

M & M

Durant notre séjour à Ngotto, nous avons tout d'abord cherché un emplacement similaire aux fosses de Mbaiki : présence d'un Sapelli d'un diamètre d'environ 50 cm et d'une ambiance forestière la moins perturbée possible. Nous avons profité d'une prospection réalisée lors d'une mission précédente (Laraque & Freycon, 2010).

Une fois l'emplacement choisi, nous avons caractérisé l'environnement de la future fosse (distance et diamètre des arbres les plus proches), Ngotto-Fosse1 (Fig. 1). La fosse a ensuite été ouverte par une équipe de deux journaliers jusqu'à 3 m de profondeur. Nous avons été confrontés par deux fois à un effondrement de la fosse, après son ouverture à 2 m de profondeur. Cela nous a incité à étudier la profondeur d'enracinement de Ngotto-Fosse1 seulement jusqu'à 3 m de profondeur, et non pas jusqu'à 6 m de profondeur, comme cela était prévu.

Nous avons apporté un appui à C. Wonkam pour le comptage des racines sur une grille de 1m50 x 1m (Fig. 3). Nous avons rencontré des difficultés pour compter les racines entre 0 et 10 cm de profondeur à cause de la présence d'un mat racinaire d'une épaisseur qui était comprise entre 3 et 8 cm. Comme il n'était pas possible de compter correctement le nombre d'impacts racinaires au niveau du mat racinaire, nous avons seulement compté les racines qui se trouvaient sous le mat racinaire. On sous-estime donc le nombre total de racines dans l'horizon [0-10 cm]. Pour atténuer cette sous-estimation, nous proposons d'estimer le nombre total de racines que l'on aurait trouvées s'il n'y avait pas eu de mat racinaire en appliquant une règle de trois pour ramener le nombre de racines comptées sous le mat racinaire à un nombre de racines correspondant à une épaisseur de 10 cm sans mat racinaire.

Ex. si 38 racines ont été trouvées dans le carré A1 (10 cm x 10 cm) sous un mat racinaire de 3 cm, alors nous estimons le nombre de racines du carré A1 égal à $38 \times 10 / (10 - 3) = 38 \times 10 / 7 = 54$ racines.

Finalement, sur la profondeur de [0-10 cm] et une largeur de 150 cm, alors que nous avons compté 244 racines sous le mat racinaire, nous avons estimé à 513 le nombre de racines s'il n'y avait pas eu de mat racinaire (Tab. 1)

Résultats (Fig. 2, Annexe 9)

Le profil Ngotto-Fosse1 correspond à un sol sableux, brun (7.5YR) en surface à rouge (2.5YR) en profondeur, avec absence de taches et absence d'éléments grossiers. Il ressemble au « sol ferrallitique psammitique » qui avait été décrit par Boulvert (1983) sur les grès de Carnot.

Les résultats préliminaires d'enracinement montrent :

- un enracinement qui atteint au moins 3 m de profondeur
- la présence à la surface du sol d'un mat racinaire (forte densité de racines) de 3 à 8 cm d'épaisseur
- un enracinement faible en-dessous de 1 m de profondeur.

Tableau 1 : Ngotto-Fosse1, Estimation du nombre de racines entre 0 et 10 cm de profondeur

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	Total
Epaisseur (cm) mat racinaire	3	5	4	2,7	6,6	7	4,5	4	4	7,5	4	8	4	6,5	8	
Nombre de racines comptées sous mat racinaire	38	27	17	28	14	10	13	16	13	9	23	10	15	6	5	244
Nombre de racines estimées sur [0-10cm]	54	54	28	38	41	33	24	27	22	36	38	50	25	17	25	513



Figure 3 : Grille utilisée pour compter le nombre d'impact racinaires.
Exemple de Ngotto-Fosse1

3.3. Discussion sur l'enracinement des sols de Mbaiki et de Ngotto

Cette étude n'a pas permis d'étudier la profondeur d'enracinement maximale des arbres sur les deux types de sol, sablo-argileux de Mbaiki vs sableux de Ngotto, puisque nous avons encore rencontré des racines aux profondeurs étudiées, respectivement 6 m à Mbaiki et 3 m à Ngotto. Une étude préliminaire à Ngotto (Laraque & Freycon, 2010) a montré que l'enracinement des arbres à Ngotto va au moins jusqu'à 5 m de profondeur. Cet enracinement devrait être encore plus profond puisque les travaux de Laclau *et al.* (2001), menés dans des plantations et sur des sols sableux du Congo similaires à ceux de Ngotto, ont montré la présence de racines d'Eucalyptus jusqu'à au moins 9 m.

L'enracinement des arbres va au moins jusqu'à 6 m de profondeur sur les sols sablo-argileux de Mbaiki, qui portent une forêt semi-décidue. Ce résultat est nouveau puisqu'à partir des quelques études menées sur les forêts tropicales décidues, il est admis que la profondeur maximale d'enracinement est en moyenne de 3.7 m, et au maximum de 4,7 m (Canadell *et al.* 1996). D'après une étude indirecte de l'enracinement menée en Amazonie par Ichii *et al.* (2007), la profondeur d'enracinement des arbres de Mbaiki, une région où la saison sèche (nombre de mois < 100 mm) dure en moyenne 4 mois, devrait être compris entre 3 et 5 m. Cette étude suggère donc que la profondeur d'enracinement des arbres de la forêt tropicale semi-décidue a été jusqu'à présent sous-estimée.

L'enracinement va jusqu'à au moins 6 m de profondeur, même à Mbaiki-Fosse 1, une fosse qui possède à partir de 2 m de profondeur un horizon gravillonnaire puis une carapace (Fig. 2). Ce résultat est a priori surprenant puisque ces deux caractéristiques du sol sont présentées généralement comme de fortes contraintes à l'enracinement (Drenou 2006). Ce résultat pourrait s'expliquer par, d'une part, une épaisseur de sol explorée par les racines augmentée par la présence d'éléments grossiers (Ashby *et al.* 1984, cité par Gras 1994) et, d'autre part, par la capacité des racines à éviter ou percer des obstacles, comme cela a été montré sur des plantes herbacées (Semchenko *et al.* 2008). On observe aussi, entre 2 et 4 m de profondeur, plus de racines dans l'horizon gravillonnaire de Mbaiki-Fosse1 que dans l'horizon ferrallitique de Mbaiki-Fosse2 (Fig. 2). Ce résultat, a priori aussi surprenant, est à relier avec les travaux de Magier & Ravina (1984) (cité par Gras 1994) qui ont trouvé des racines de pêcheurs plus nombreuses dans les parties de sol où les éléments grossiers sont abondants.

Enfin, l'existence d'un mat racinaire (très forte densité de racines) à la surface du sol sur grès de Carnot de Ngotto-Fosse1, est certainement à relier avec la très faible fertilité des sols sableux sur grès de Carnot (Boulvert 1983, Gourlet-Fleury *et al.* 2010). Mais il est étonnant de ne pas observer ce mat racinaire sur les deux fosses de Mbaiki, puisque la fertilité chimique de ces sols est, certes légèrement meilleure que celle des sols sur grès de Carnot, mais reste faible (Gourtet-Fleury *et al.* 2010). Est-on en présence de l'existence d'un seuil ?

Ces premiers résultats et discussion seront complétés dans le mémoire de C. Wonkam.

Bibliographie

- Ashby, W. C., Vogel, W. G., Kolar, C. A., and Philo, G. R. (1984). Productivity of stony soils on strip mines. In "Erosion and productivity of soils containing rock fragment." SSSA Special publication **13**, 31-44.
- Baize, D., and Jabiou, B. (2001). "Guide pour la description des sols." Quae, Paris.
- Boulvert, Y. (1983) Carte pédologique de la république centrafricaine à 1 : 1 000 000 ORSTOM, Paris.
- Canadell, J., Jackson, R. B., Ehleringer, J. B., Mooney, H. A., Sala, O. E., and Schulze, E. D. (1996). Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* **108**, 583-595.
- Drenou, C. (2006). "Les racines. Face cachée des arbres." Institut pour le développement forestier, Paris.
- Duchaufour, P. (2004). "Introduction à la Science du sol. Sol, végétation, environnement." Dunod, Paris.
- Freytet, F. (1992) Annexe n°1 : Etude pédologique. In Rapport d'activité (février 1991 - avril 1992). Travaux de recherche sur l'aménagement des forêts denses humides. Dispositif de Boukoko - La Lolé, M'Baïki (Lobaye) (eds F. Freytet & G. Tandeau de Marsac). Ministère des eaux et forêts, ONF, Projet FAC/ARRF, Bangui.
- Gobat, J.-M., Aragno, M., and Matthey, W. (2010). "Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols." Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Gourlet-Fleury, S., Fayolle, A., Freycon, V., Mortier, F. (2010). Compte-rendu de mission en République Centrafricaine et en République du Congo, 10/02/2010 au 26/02/2010, 31 p. + Annexes, Cirad, Montpellier
- Gras, R. (1994). "Sols caillouteux et production végétale." INRA Paris.
- Ichii, K., Hashimoto, H., White, M. A., Potters, C., Hutry, L. R., Huete, A. R., Myneni, R. B., and Nemanis, R. R. (2007). Constraining rooting depths in tropical rainforests using satellite data and ecosystem modeling for accurate simulation of gross primary production seasonality. *Global Change Biology* **13**, 67-77.
- Laclau, J.P., Arnaud, M., Bouillet, J.P., & Ranger, J. (2001) Spatial distribution of Eucalyptus roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. *Tree Physiology*, **21**, 129-136.
- Laraque, A., Freycon, V. (2011). Mise en place de piézomètres et pré-étude de la profondeur d'enracinement (RCA). 23 p. + Annexes, Ird, Cirad, Projet CoForChange, Montpellier.
- Legros, J.-P. (2007). "Les grands sols du Monde." Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Magier, J., and Ravina, I. (1984). Rock fragments and soil depth as factors in land evaluation of terra rossa. In "Erosion and productivity of soils containing rock fragment." SSSA Special publication **13**, 13-30.
- Robert, M. (1996). "Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement." Masson, Paris.
- Ruellan, A., and Dosso, M. (1993). "Regards sur le sol." Foucher, Paris.
- Semchenko, M., Zobel, K., Heinemeyer, A., and Hutchings, M. J. (2008). Foraging for space and avoidance of physical obstructions by plant roots: a comparative study of grasses from contrasting habitats. *New Phytologist* **179**, 1162-1170.

Liste des Annexes

Annexe 1 – Calendrier de la mission

Annexe 2 – Etudiants ayant suivi la formation en pédologie

Annexe 3 – Contenu de la formation en pédologie

Annexe 4 – Evaluation des connaissances acquises durant la formation en pédologie

Annexe 5 – Evaluation des connaissances acquises durant la formation en pédologie (Correction)

Annexe 6 – Evaluation de la formation en pédologie

Annexe 7 – Description de la fosse pédologique Mbaiki-Fosse 1

Annexe 8 – Description de la fosse pédologique Mbaiki-Fosse 2

Annexe 9 – Description de la fosse pédologique Ngotto-Fosse 1

Annexe 10 – Echantillons de sols prélevés durant la mission en vue d'analyses

Annexe 11 – Relevés GPS

Annexe 1 – Calendrier de la mission

Mercredi 18 mai 2011. Trajet Montpellier / Paris / Bangui.

Jeudi 19 mai 2011. Formation de pédologie : Cours n° 1, 2, 3 et 11

Vendredi 20 mai 2011. Formation de pédologie : Cours n° 4, 5 et 6

Samedi 21 mai 2011. Courses, préparation terrain. Trajet Bangui → Mbaïki

Dimanche 22 mai 2011. Observation de la fosse 2 de Mbaïki.

Lundi 23 mai 2011. Observation de la fosse 1 de Mbaïki. Trajet Mbaïki → Ngotto

Mardi 24 mai 2011. Rencontre de J. Bobero et O. Fiongaï (Projet ECOFAC) et de D. Déola (IFB). Recherche de l'emplacement de Ngotto-Fosse 1.

Mercredi 25 mai 2011. Ngotto-Fosse1 : Creusement jusqu'à 1m50 de profondeur. Appui à C. Wonkam pour compter les racines [0-20 cm].

Jeudi 26 mai 2011. Ngotto-Fosse1 : Appui à C. Wonkam pour compter les racines [20-100 cm]. Creusement jusqu'à 2m50 de profondeur.

Vendredi 27 mai 2011. Ngotto-Fosse 1 : Déblaiement de la terre suite à effondrement de terre durant la nuit. Appui à C. Wonkam pour compter les racines [100-200 cm].

Samedi 28 mai 2011. Ngotto-Fosse 1 : Creusement jusqu'à 3m50 de profondeur. Appui à C. Wonkam pour compter les racines [200-300 cm]. Déblaiement de la terre suite à effondrement de la terre. Arrivée de A. Fayolle et S. Gourlet-Fleury (Recherche de l'emplacement de Ngotto-Fosse 2).

Dimanche 29 mai 2011. Trajet Ngotto → Mbaïki → Bangui

Lundi 30 mai 2011. Formation de pédologie : TP terrain, colline de Gbaza-Bangui. Cours n° 6, 7 et 8.

Mardi 31 mai 2011. Formation pédologie : évaluation des connaissances acquises par les étudiants. Rencontre de O. Yongo (responsable master « Biodiversité »), J.-L. Syssa-Magalé (doyen de la Faculté des Sciences) et J. Rouauld (vice-recteur de l'Université de Bangui). Rencontre de X. Hainaut (attaché de coopération du SCAC).

Mercredi 1 juin 2011. Formation pédologie : correction de l'évaluation.

Jeudi 2 juin 2011. Trajet Bangui → Paris → Montpellier

Annexe 2 – Etudiants ayant suivi la formation en pédologie

Mastère M1 « Biodiversité », Université de Bangui, Année 2011-07-19

Arlette IGNANELEYEPA

Brice KOLOUGNOMBI

Vincent KPANGBA

Christina MAGBA-YAMALE

Olivier NAKOE

Victoria PASSINENE

Marie-France YAKANGA-NDE-POUMAYE

Annexe 3 – Contenu de la formation en pédologie

Cours de pédologie, Année scolaire 2011
Université de Bangui, Mastère 1 « Biodiversité »
Plan du cours, volume horaire 12h (+ 4h terrain)
(Version finale, V. Freycon, CIRAD)
En italique = cours non donné

1. Introduction

- Définitions d'un sol (langage courant, littéraire, scientifique)
- Les trois phases de formation : altération, incorporation matière organique, transfert de matière
- Exemples de diversité des sols (épaisseur, couleur, ...) à l'échelle mondiale vs à l'échelle d'un versant
- Plan du cours

2. Les briques du système-sol

- Les constituants minéraux (minéraux de la roche → minéraux du sol, minéralogie des argiles)
- Les constituants organiques (litière → humus)
- Les êtres vivants (bactéries, champignons, algues, faune, racines)

3. Les propriétés du sol

- a) Vision du physicien
 - 3 phases : solide, eau, air
 - granulométrie (sable, limon, argile)
 - structure et porosité
 - l'eau du sol : infiltration, réserve en eau
 - l'air du sol
- b) Vision du chimiste
 - complexe argilo-humique : surface, charge
 - complexe d'échange (CEC, bases échangeables, ...)
 - pH d'un sol
 - oxydo-réduction : causes et conséquences (Fe, Mn)
 - (*Profils C, CEC, ... en fonction de la profondeur*)
 - (*Les relations entre les différentes variables d'un sol : $CEC = f(C, A, pH), \dots$*)

4. Le sol, un milieu vivant

- Incorporation et transformation de la matière organique
- Pédoturbation et pédoplasation
- Altération des roches, réduction du fer
- Ecologie microbienne : symbiose bactéries-racines et champignons-racines

5. Le sol et la nutrition des plantes

- Le système racinaire : Fonctions, différents types de racines, déterminants de la profondeur d'enracinement
- La nutrition des plantes : de la carence à la toxicité, éléments totaux vs disponibles
- Le phosphore
- (*Les cycles du C et de l'N*)

6. Formation, évolution, classification et répartition mondiale des sols

- Les facteurs de formation d'un sol : climat, roche, biome, relief, temps (→ âge d'un sol)
- L'acidification des sols : causes et conséquences
- (*Exemples d'autres processus : ferrallitisation podzolisation,...*)
- Classification des sols : horizons diagnostics ; les grands systèmes de classification (CPCS, Soil taxonomy, WRB)
- Exemples de sols : Ferralsols, Acrisols, Plinthosols, Vertisols

7. Les sols tropicaux

- Les ferralsols : caractéristiques générales (bonne structure, acides, faible teneur en C, désaturés, carencés en phosphore disponible)
- Autres sols des tropiques (dont cuirasses : formation, répartition en fonction du climat et du modelé - inversion du relief)
- Terra preta
- Sols de RCA et les travaux des pédologues de l'Orstom

8. Sols et forêt tropicale

- La forêt tropicale
- Le sol, un des facteurs qui structure la forêt tropicale
- Influence de la déforestation sur le changement des propriétés des sols

9. Sols et environnement

- *Les fonctions d'un sol : production agricole, régulation des flux vers hydrosystèmes et atmosphère (stockage de carbone), épuration, habitat écologique (biodiversité), mémoire du passé (archéologie, changements de végétation C3-C4, érosion...).*
- *Risques de dégradation : pertes de terres par urbanisation, érosion des sols (équation de Wischmeier & Smith), pollutions industrielles, salinisation, exploitation (routes, habitation, fer, bauxite, or, ...).*
- *Nécessité de leur protection : faciles à perdre, difficiles à regagner*

10. Description et étude d'un sol (TP terrain)

- *Profil et horizons*
- Description de l'environnement : lieu, coordonnées géographiques, position topographique, pente, roche
- Description d'un sol : Couleur et taches, texture, structure, racines, éléments grossiers, ...
- *Echantillonnage stratifié, notion de toposéquence.*

11. Structure d'un article classique (Préparation d'une partie de l'évaluation)

- Forme d'un sablier : général → particulier → général
- Introduction, M&M, Résultats, Discussion
- Introduction : cadre général, cadre spécifique (biblio), information manquante, objectif, hypothèses.

Cours de pédologie, Année scolaire 2011
Université de Bangui, Mastère 1 « Biodiversité »
Supports de cours
V. Freycon, CIRAD

Sélection d'introduction d'articles scientifiques pour accompagner le cours

1. Agbenin (2003), Chacon et al. (2005) Relations entre phosphore disponible, fer et engorgement des sols
2. Zinn et al. (2005) Relations entre C et texture
3. Eusterhues et al. (2003) Stabilisation de la matière organique
4. Rumpel & Kögel-Knabner (2011) Matière organique du sol de profondeur
5. Reatto et al. (2009), Sarcinelli et al. (2009) Rôle des termites sur les propriétés des sols
6. Brown et al. (2004) Origine des stonelines
7. Lin et al. (2005) Organisation des sols le long d'une toposéquence
8. Barthold et al (2008) Répartition des nutriments du sol à l'échelle du paysage
9. Lehmann et al. (2003) Terra preta
10. Bitom et al. (2003) Evolution d'une cuirasse
11. Balbino (2002) Changement de la porosité d'un ferralsol après changement d'usage (forêt → pâturage)
12. Are et al. (2009) Effet Slash & Burn sur les sols

Sélection d'articles « grand public » pour accompagner le cours

1. « Une savane stérile transformée en mer de verdure » Courrier international, 17 au 23 février 2011
2. « Le grenier à céréales est en danger », Courrier international, 17 au 23 février 2011

Sélection d'articles pour préparer « Synthèse d'un article »

1. Bachelier (1977) Mise au point sur l'action des termites dans les sols
2. Canadell et al. (1996) Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale
3. Sollins (1998) Factors influencing species composition in tropical lowland rain forest : does soil matter ?

Annexe 4 – Evaluation des connaissances acquises durant la formation en pédologie

Université de Bangui, M1 « Biodiversité végétale »
Cours de pédologie V. Freycon (CIRAD, Montpellier), Année 2011
Evaluation, 31 mai 2011

1. Evaluation des connaissances acquises en cours (10 points)
 - 1.1. Parmi les éléments majeurs des roches, quels sont les ions les plus solubles dans l'eau ? Les moins solubles ?
 - 1.2. Quelle est la définition des classes granulométriques argile, limon et sables ?
 - 1.3. Quelle est la composition minéralogique de la classe granulométrique « limon » ?
 - 1.4. Sur 4 types de sols, on a mesuré leur teneur en eau au point de flétrissement (θ_{PWP}) et à la capacité au champ (θ_{FC}).
Quel est le sol qui a potentiellement la réserve en eau la plus importante ?
Quel est le sol qui a potentiellement la réserve en eau disponible pour les plantes la plus importante ?
Le 31 mai 2011, on mesure la teneur en eau de ces 4 types de sol (θ_t).
Ce jour-ci, quels sols ont de l'eau disponible pour les plantes ?

Sol	θ_{PWP}	θ_{FC}	θ_t
1	8%	11%	9%
2	10%	15%	12%
3	15%	26%	14%
4	20%	30%	12%

- 1.5. Quels sont les constituants du sol qui permettent :
 - l'échange de cations avec la solution du sol ?
 - l'échange d'anions avec la solution du sol ?
 - 1.6. Quels sont les facteurs qui influencent la vitesse de minéralisation et d'humification ?
 - 1.7. Pourquoi, dans les sols tropicaux, seulement une partie du phosphore total est-elle disponible pour les plantes ?
2. Analyse de l'introduction de l'article de Chacon et al. (2009) (3 points)
 - 2.1. Trouver le début et la fin des parties « cadre général », « cadre spécifique », « information manquante », « objectif de l'étude »
 - 2.2. Le phosphore disponible pour la plante est-il plus important :
 - quand le sol est inondé (« flooded soils ») ?
 - ou bien quand le sol n'est plus inondé (« terrestrial phase ») ?Pourquoi ?

3. Evaluation des connaissances acquises sur le terrain (2 points)
 - 3.1. Quels sont les paramètres à noter avant de décrire un sol ?
 - 3.2. Pour décrire un sol, quels sont les principaux paramètres à prendre en compte ?
 - 3.3. Quels sont les constituants du sol qui déterminent la couleur d'un sol ?
Si un sol est blanc, que peut-on en conclure ?
Qu'utilise-t-on pour donner de manière objective une couleur à un sol ?
 - 3.4. Comment reconnaît-on sur le terrain un sol argileux ?

4. Le plus (+ 1 point)
Comment est perçu le sol dans les contes africains, par vos parents, votre famille qui travaille la terre ?

5. Restitution par groupe de 2 ou 3 étudiants d'un article de synthèse (5 points)
 - Bachelier (1977)
 - Canadell et al. (1996)
 - Sollins (1998)

Annexe 5 – Evaluation des connaissances acquises durant la formation en pédologie (Correction)

Université de Bangui, M1 « Biodiversité végétale »
Cours de pédologie V. Freycon (CIRAD, Montpellier), Année 2011
Evaluation, 31 mai 2011, **Correction**

6. Evaluation des connaissances acquises en cours (10 points)

- 6.1. Parmi les éléments majeurs des roches, quels sont les ions les plus solubles dans l'eau ? Les moins solubles ?

Les plus solubles : K, Na, Ca, Mg

Les moins solubles : Fe^{3+} , Al, Mn

- 6.2. Quelle est la définition des classes granulométriques argile, limon et sables ?

Les argiles ont une taille $< 2 \mu$

Les limons ont une taille comprise entre 2μ et 50μ

Les sables ont une taille comprise entre 50μ et 2000μ

- 6.3. Quelle est la composition minéralogique de la classe granulométrique « limon » ?

La classe granulométrique « limon » peut contenir des restes de minéraux (quartz, mica, silicates) des argiles minéralogiques et des oxydes.

- 6.4. Sur 4 types de sols, on a mesuré leur teneur en eau au point de flétrissement (θ_{PWP}) et à la capacité au champ (θ_{FC}).

Quel est le sol qui a potentiellement la réserve en eau la plus importante ?

Le sol n°4 car il a une teneur en eau à la capacité au champ la plus élevée ($\theta_{FC} = 30\%$).

Quel est le sol qui a potentiellement la réserve en eau disponible pour les plantes la plus importante ?

Le sol n°3 car il a une valeur de ($\theta_{FC} - \theta_{PWP}$) la plus élevée ($\theta_{FC} - \theta_{PWP} = 11\%$)

Le 31 mai 2011, on mesure la teneur en eau de ces 4 types de sol (θ_t).

Ce jour-ci, quels sols ont de l'eau disponible pour les plantes ?

Les sols n°1 et n°2 car θ_t est supérieur à θ_{PWP}

Sol	θ_{PWP}	θ_{FC}	θ_t	$\theta_{FC} - \theta_{PWP}$
1	8%	11%	9%	3%
2	10%	15%	12%	5%
3	15%	26%	14%	11%
4	20%	30%	12%	10%

- 6.5. Quels sont les constituants du sol qui permettent :

- l'échange de cations avec la solution du sol ?

La matière organique du sol et les argiles

- l'échange d'anions avec la solution du sol ?

Les oxydes de fer et d'aluminium

- 6.6. Quels sont les facteurs qui influencent la vitesse de minéralisation et d'humification ?

Le type de résidus, le climat (température, pluie), l'oxygène (absence ou présence), la protection physique (par l'argile ou les turricules)

- 6.7. Pourquoi, dans les sols tropicaux, seulement une partie du phosphore total est-elle disponible pour les plantes ?

Parce que les formes de phosphore assimilables par les plantes ont une forte affinité avec les oxydes de fer et/ou aluminium, et ne sont donc plus disponibles pour les plantes.

7. Analyse de l'introduction de l'article de Chacon et al. (2009) (3 points)

- 7.1. Trouver le début et la fin des parties « cadre général », « cadre spécifique », « information manquante », « objectif de l'étude »

Cadre général : de « extensive areas » à « ecosystems (Junk et al. 1989) »

Cadre spécifique : de « during the aquatic phase » à « (Qiu and McComb 1995). »

Information manquante : de « Because the P cycle » à « soil P partitioning »

Objectif de l'étude : de « we addressed this study » à « forest gradient »

- 7.2. Le phosphore disponible pour la plante est-il plus important :

- quand le sol est inondé (« flooded soils ») ?
- ou bien quand le sol n'est plus inondé (« terrestrial phase ») ?

Quand le sol est inondé

Pourquoi ?

Quand le sol est inondé, le milieu devient réducteur, les oxydes de fer sont réduits, les anions phosphates qui étaient adsorbés sur ces oxydes de fer (donc non disponibles pour la plante) sont libérés dans la solution du sol et deviennent disponibles pour la plante.

« Low redox potential promote the microbial reduction of Fe(III) oxides [...]. Under such circumstances the phosphate anions chemically sorbed to these iron oxides surfaces is released [...]. »

8. Evaluation des connaissances acquises sur le terrain (2 points)

- 8.1. Quels sont les paramètres à noter avant de décrire un sol ?

Lieu, coordonnées géographiques (Longitude, Latitude), type de végétation, position topographique, pente, roche

8.2. Pour décrire un sol, quels sont les principaux paramètres à prendre en compte ?

Couleur (dont taches), texture, structure, éléments grossiers, racines

8.3. Quels sont les constituants du sol qui déterminent la couleur d'un sol ?

Le fer (qui colore le sol en rouge, jaune ou vert/bleu) et la matière organique (qui colore le sol en noir)

Si un sol est blanc, que peut-on en conclure ?

Il n'a ni fer, ni matière organique

Qu'utilise-t-on pour donner de manière objective une couleur à un sol ?

Le Code Munsell

8.4. Comment reconnaît-on sur le terrain un sol argileux ?

A l'état humide, il colle. On peut faire un cercle avec un boudin.

A l'état sec, il est très dur

9. Le plus (+ 1 point)

Comment est perçu le sol dans les contes africains, par vos parents, votre famille qui travaille la terre ?

10. Restitution par groupe de 2 ou 3 étudiants d'un article de synthèse (5 points)

- Bachelier (1977)
- Canadell et al. (1996)
- Sollins (1998)

Annexe 6 – Evaluation de la formation en pédologie

Université de Bangui, M1 « Biodiversité végétale »
Cours de pédologie V. Freycon (CIRAD, Montpellier), Année 2011
Evaluation du cours, 31 mai 2011

Donner une note de 1 à 4 sur les différents cours

Cours	Note
N°1 (Introduction)	
N°2 (Les constituants du sol)	
N°3 (Les propriétés du sol)	
N°4 (Les êtres vivants)	
N°5 (Sol et nutrition des plantes)	
N°6 (Formation, classification, répartition)	
N°7 (Sols tropicaux)	
N°8 (Sol et forêts tropicales)	
TP terrain	
Evaluation	

1 : Très bien ; 2 : Bien ; 3 : Moyen ; 4 : Pas terrible

Globalement, comment avez-vous trouvé la formation ?

Quelles modifications sont à apporter pour l'améliorer ?

Annexe 7 – Description succincte de la fosse pédologique Mbaiki-Fosse 1

Id : Pays : RCA Lieu : Mbaïki-Boukoko Fosse : 1

Ouverture de la fosse : avril 2011 (Equipe ARF, stage C. Wonkam)

Description de la fosse : 23 mai 2011

Auteur : V. Freycon

Dimension de la fosse : Longueur=140 cm x largeur=150cm x Prof.=600 cm

Localisation :

RCA, dispositif forestier de Mbaiki, ARF/CIRAD

A quelques mètres de la piste d'accès au dispositif

Relevé GPS, WGS84, UTM 33N : x = 822730 m E ; y = 429130 m N

Végétation : Forêt semi-décidue

Espèces = A compléter

A une distance de 50 cm d'un Sapelli de 50 cm de diamètre

Géologie : Grès-quartzites (d'après carte géomorphologique de la RCA à 1/1000000 de Boulvert 1996)

Antécédents climatiques : A compléter

Hydrologie :

Régime hydrique sec de manière saisonnière

Drainage naturel favorable

Sans excès d'eau

Géomorphologie :

Pente = non mesurée %

Morphologie locale : sur une pente régulière

Situation dans la forme : non déterminé

Nombre d'horizons : 4

Horizon 1 [0 - 20 cm]

Non décrit précisément

2.5YR4/6 (red) à l'état sec.

Horizon 2 [20 – 200 à 210 cm]

2.5YR5/8 (red) à l'état sec. Absence de taches. Argileux. Structure micro-agrégée à sur-structure polyédrique subanguleuse. Absence d'éléments grossiers. Racines (voir étude enracinement). Transition avec horizon inférieure nette, ondulée.

Horizon 3 [200 à 210 cm – 350 à 450 cm]

2.5YR5/8 (red) à l'état sec. Absence de taches. Texture non déterminée. Structure non déterminée. Dans la partie supérieure de l'horizon, abondance d'éléments grossiers : graviers de cuirasse de taille < 1 cm + quelques cailloux de lithorelique ferruginisée (structure microgrenue avec grains de quartz) de taille 5 cm [EG220] + quelques cailloux a priori de quartzite ferruginisé anguleux de taille 10cm [EG250].

Dans la partie inférieure de l'horizon, transition vers une carapace/cuirasse (non individualisation des éléments grossiers). Racines (voir étude enracinement). Transition avec l'horizon inférieur nette [EG590], ondulée.

Horizon 4 [350 à 450 cm – 600 cm]




Roche altérée (a priori grès) de couleur majoritairement blanche, avec des taches peu intense rose clair ou orange clair. Texture sableuse. Quelques « veines » rouges constituées de terre fine et de concrétions ferrugineuses dures.

Profondeur de prélèvement des échantillons de sol par horizon pour WRB :

Horizon 1 : 10-20 cm

Horizon 2 : 100 cm \pm 5 cm

Horizon 3 : 300 cm \pm 5 cm

	
Mbaïki-Fosse 1-EG220	Mbaïki-Fosse 1-EG250
	
<p>Mbaïki-Fosse 1-EG590 : transition entre la cuirasse et la roche altérée. Notons la présence de racines fines dans les anfractuosités de la cuirasse.</p>	



Mbaïki-Fosse1 : Profil jusqu'à 1 m de profondeur



Mbaïki-Fosse1 : Profil entre 4m et 4m50 de profondeur, face latérale de la fosse.
Transition entre la cuirasse (couleur rouge) et la roche altérée (couleur blanche)

Annexe 8 – Description succincte de la fosse pédologique Mbaiki-Fosse 2

Id : Pays : RCA Lieu : Mbaïki-Boukoko Fosse : 2

Ouverture de la fosse : avril 2011 (Equipe journaliers, stage C. Wonkam)

Description de la fosse : 22 mai 2011

Auteur : V. Freycon

Dimension de la fosse : Longueur=240 cm x largeur=150cm x Prof.=600 cm

Localisation :

RCA, dispositif forestier de Mbaiki, ARF/CIRAD

Zone tampon de la parcelle 3, Boukoko

Relevé GPS, WGS84, UTM 33N : x = 822500 m E ; y = 430030 m N

Végétation : Forêt semi-décidue

Espèces = A compléter

A une distance de 50 cm d'un Sapelli de 50 cm de diamètre

Géologie : Grès-quarzites (d'après carte géomorphologique de la RCA à 1/1000000 de Boulvert 1996)

Antécédents climatiques : A compléter

Hydrologie :

Régime hydrique sec de manière saisonnière

Drainage naturel favorable

Sans excès d'eau

Géomorphologie :

Pente = non mesurée %

Morphologie locale : sur une pente régulière

Situation dans la forme : non déterminé

Nombre d'horizons : 4

Horizon 1 [0 - 20 cm]

Non décrit précisément

2.5YR2.5/4 (dark reddish brown) à l'état frais, 2.5YR3/4 (dark reddish brown) à l'état sec

Horizon 2 [20 – 420 cm]

1m de profondeur : 10R3/4 (dusky red) à l'état frais, 10R4/6 (red) à l'état sec.

4 m de profondeur : 10R4/6 (red) à l'état frais, 2.5YR4/6 (red) à l'état sec.

Absence de taches. Argileux. Structure micro-agrégée à sur-structure polyédrique subanguleuse.

Absence d'éléments grossiers. Racines (voir étude enracinement). Transition avec horizon inférieure nette.

Horizon 3 [420 cm – 570 cm]

Couleur non déterminée. Texture non déterminée. Structure non déterminée. Abondance d'éléments grossiers : roche altérée grenue noire de 15 cm (a priori grès) avec grains de quartz et concentration

d'oxyde de fer [EG420], cailloux de quartz anguleux de 10 cm et arrondis de 5 cm [EG470], cuirasse ou lithorelique ferruginisée, roche saine blanche, grenue (a priori grès) [EG500]. Transition avec l'horizon inférieur nette, ondulée.

Horizon 4 [570 cm – 600 cm]

2.5YR3/6 (dark red) à l'état sec. Taches 5YR7/2 (pinky gray) associées à une texture sableuse. Absence d'éléments grossiers.

Profondeur de prélèvement des échantillons de sol par horizon pour WRB :




Horizon 1 : 0-20 cm

Horizon 2 : 100 cm \pm 5 cm

Horizon 2 : 200 cm \pm 5 cm

Horizon 2 : 300 cm \pm 5 cm

Horizon 2 : 400 cm \pm 5 cm

	
Mbaïki-Fosse2-EG420	Mbaïki-Fosse2-EG470
	
Mbaïki-Fosse2-EG500	



Mbaïki-Fosse2 : Profil jusqu'à 2 m de profondeur

Annexe 9 – Description succincte de la fosse pédologique Ngotto-Fosse 1

Id : Pays : RCA Lieu : Ngotto Fosse : 1

Ouverture de la fosse : 25 au 28 mai 2011 (Equipe journaliers : Emmanuel, Fabrice, stage C. Wonkam)

Description de la fosse : 26 et 27 mai 2011

Auteur : V. Freycon

Dimension de la fosse : Longueur=300 cm x largeur=150cm x Prof.=300 cm

Localisation :

RCA, Forêt de Ngotto

Relevé GPS, WGS84, UTM 33N : x = 741150 m E ; y = 444760 m N

Végétation : Forêt semi-décidue

Espèces = A compléter

A une distance de 50 cm d'un Sapelli de 42 cm de diamètre

Géologie : Grès de Carnot (d'après carte géomorphologique de la RCA à 1/1000000 de Boulvert 1996)

Antécédents climatiques : A compléter

Hydrologie :

Régime hydrique sec de manière saisonnière

Drainage naturel favorable

Sans excès d'eau

Géomorphologie :

Pente = non mesurée %

Morphologie locale : sur une pente régulière

Situation dans la forme : non déterminé

Nombre d'horizons : 4

Horizon 1 [0 – 3 à 8 cm]

Mat racinaire

Horizon 2 [3 à 8 cm – 40 à 60 cm]

15 cm : 7.5YR4/3 (brown) à l'état frais, 7.5YR4/2 (brown) à l'état sec.

50 cm : 5YR4/4 (reddish brown) à l'état frais, (7.5YR à 5YR)4/4 (brown à reddish brown) à l'état sec.

Absence de taches. Sableux. Structure grumeleuse à sur-structure polyédrique subanguleuse faible.

Absence d'éléments grossiers. Racines abondantes (voir étude enracinement). Transition avec horizon inférieure ondulée, progressive.

Horizon 3 [40 à 60 cm – 110 cm]

5YR4/6 (yellowish brown) à l'état frais, 5YR4/4 (reddish brown) à l'état sec

Absence de taches. Sableux. Structure particulaire. Charbons de bois à 50 cm et 70 cm. Absence d'éléments grossiers autres que charbons de bois. Racines peu abondantes (voir étude enracinement).

Transition avec horizon inférieur progressive.

Horizon 4 [110 cm – 300 cm]

180 cm : 5YR4/6 (yellowish red) à l'état frais, 5YR5/6 (yellowish red) à l'état sec.

280 cm : 2.5YR4/6 (red) à l'état frais et sec.

Absence de taches. Sableux. Structure particulière. Absence d'éléments grossiers. Racines rares (voir étude enracinement).

Profondeur de prélèvement des échantillons de sol par horizon pour WRB :

Horizon 1 : 10-20 cm

Horizon 2 : 50 cm \pm 5 cm

Horizon 3 : 100 cm \pm 5 cm

Horizon 4 : 180 cm \pm 5 cm

Horizon 4 : 280 cm \pm 5 cm



Ngotto-Fosse1 : Profil jusqu'à 2 m de profondeur

Annexe 10 – Echantillons de sols prélevés durant la mission en vue d'analyses

Echantillons prélevés pour WRB et humidité-pF, les 22 mai 2011 (Mbaiki-Fosse2), 23 mai (Mbaiki-Fosse1), 27 et 28 mai (Ngotto-Fosse1)

Id sol	Lieu	Fosse	Profondeur
1	Mbaiki	Fosse1	10-20 cm
2			100 cm
3			300 cm
4	Mbaiki	Fosse2	0-20 cm
5			100 cm
6			200 cm
7			300 cm
8			400 cm
9	Ngotto	Fosse1	10-20 cm
10			50 cm
11			100 cm
12			180 cm
13			280 cm

Annexe 11 – Relevés GPS

Référentiel : WGS84 ; Projection : UTM33

Modèle : Garmin GPSmap 60CSx

Id GPS	Type	Caractéristiques	Longitude (E)	Latitude (N)
1	Fosses	Mbaiki-Fosse1	822730	429130
2		Mbaiki-Fosse2	822500	430030
3		Ngotto-Fosse1	741150	444760